

大型・高精細TFT・LCDデバイスの洗浄技術に関する研究

著者	三森 健一
号	2637
発行年	2000
URL	http://hdl.handle.net/10097/7910

氏 名	みつ もり けん いち
授 与 学 位	三 森 健 一
学 位 授 与 年 月 日	博士 (工学)
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	平成 13 年 3 月 26 日
研究科, 専攻の名称	学位規則第 4 条第 1 項
学 位 論 文 題 目	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電子工学専攻
指 導 教 官	大型・高精細 TFT・LCD デバイスの洗浄技術に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 大見 忠弘
	主査 東北大学教授 大見 忠弘 東北大学教授 内田 龍男
	東北大学教授 室田 淳一 東北大学助教授 須川 成利

論 文 内 容 要 旨

本論文は 5 章からなる。以下各章ごとにそれぞれの内容を概説する。

第 1 章 序 論

液晶ディスプレイ (LCD) は、現在の高度情報化社会のマン・マシンインターフェースの中核を成し、その大型化と高精細化が今後ますます進展する状況にある。それに伴い液晶ディスプレイに使用されるガラス基板は既に 800mm 角を超え、近い将来は 960mm×1100mm といったサイズになると言われており、精細度も直視型で既に 200ppi (pixels per inch) を超え、まもなく 300ppi となる。液晶ディスプレイは、表示エリア全体の中で、欠陥が 1 つでもあると不良品となってしまうので、洗浄プロセスには、大面積にわたって均一で高洗浄な基板表面を実現することが要求され、シリコン基板とは耐薬品性も異なることから液晶ディスプレイ製造に固有の洗浄液や洗浄手段の研究が必要になっている。特に洗浄力が高く且つ使用する洗浄液量が極めて少なくすむ技術開発が急務である。

本研究は、汚染除去として重要な洗浄液の性質を決める酸化還元電位及び pH を ppm 程度の薬液添加等で制御できる機能水の TFT・LCD の分野への適用研究を通して、洗浄液の適切な選択とその洗浄液を効率良く製造できる装置の開発と、選択した洗浄液を用いて TFT・LCD 製造プロセスの多くの工程で汎用的に使用できる洗浄ツールの適切な選択と、それらを組み合わせた最適洗浄プロセスの開発を目的としている。中でも洗浄力が高く且つ省液の観点から汎用的洗浄ツールの 1 つである超音波洗浄の革新的使い方及び洗浄装置の開発が重要な研究目的である。

第2章 TFT 基板のウェット洗浄プロセス用機能水

本章では、洗浄液として超純水をベースとし、必要最小限の薬液やガスの添加(50ppm 以下)で、酸化還元電位、pH の制御が可能で不純物除去に有効と考えられる各種機能水の洗浄効果と、電解イオン水(電気分解した水)についてはガラス基板上に形成した a-Si へのダメージについて検討した。電解イオン水の中で、還元性でアルカリ性の電解カソード水(カソード電極側で電解された水)についてはリフトオフの機能としてのブラシや超音波などの洗浄ツールとの組み合わせによる微粒子除去について検討した。還元性でアルカリ性の水素水(水素ガスを超純水に溶解した水)についても微粒子除去の検討を行なった。酸化性のアノード水(アノード電極側で電解された水)については金属除去性を、同様に強酸化性のオゾン水については金属除去性、有機物除去性、オゾン水の自己分解性(寿命)の課題対策、濃度の高速制御方法等、一連の検討を行なった。

電解カソード水とメガソニック(MHz 帯の超音波)を組み合わせた洗浄が、微粒子除去に有効であり、その際には、溶存ガスが重要な働きをし、溶存ガスが存在しないと高洗浄な基板表面は得られないこと、溶存ガスの主成分は水素であり、窒素ガスよりも水素ガスの方が洗浄効果は高いことが分かった。また、この組み合わせは、半導体製造プロセスで用いられているアンモニア過酸化水素水洗浄(SC1)よりも洗浄力が高いことが分かった。電解カソード水とブラシあるいは高圧ジェット洗浄の組み合わせでは、粒子除去性は高いが表示ムラにつながる要因を含んでいることが分かり、汎用的に TFT・LCD 製造プロセスで利用できる洗浄ツールはメガソニックであることを述べた。電解アノード水は、100ppm の塩酸添加で高い貴金属(例えば銅)除去性を示すことが分かったが、アモルファスシリコン上に析出した銅は、 $1 \times 10^{10} \text{atoms/cm}^2$ レベルの低濃度には除去できない。したがって汚染させないプロセス構築が必須であることを述べた。電解イオン水洗浄は、本研究の範囲において表面ラフネスに悪影響は与えないことも分かった。

水素水と電解カソード水の溶存水素量と pH を同じにしてメガソニックと組み合わせた洗浄実験で両者は等価であることが分かった。その結果、電解槽の材料としてステンレスの使用が可能となり、高信頼性で高純度の水素を発生させることができる電解槽の製造が可能となった。溶存水素量には最適範囲があり、1.3ppm 以上 2ppm 以下が望ましいことを述べた。水素水とメガソニックとの組み合わせで示す高い微粒子除去性は、キャビテーシ

ヨンの効果であることを、メガソニック照射時の雑音評価、ラジカルの発生の評価実験より検証した。

オゾン水の一連の検討より、オゾン水の輸送時の自己分解(寿命)の課題は、オゾンはガスで輸送し、使用部の直近で超純水に溶解することで解決できること、ガス溶解モジュールのガス部の体積を極少化(溶解膜面積極大の条件下)し、高速にオゾンガスでモジュールのガス部を置換することで、オゾン水の秒単位の濃度制御も可能であることを述べた。また、オゾン水の金属除去性能は高いことが分かったが、電解アノード水と同程度の貴金属除去性であること、有機物除去性能は高く受入ガラス基板や成膜後の基板上有機物除去は可能であること、ただし、絶縁膜上に高濃度の有機物汚染がある場合には、洗浄に限界があり、その際は UV(紫外線)洗浄の併用が必要であること等を明かにした。

機能水の検討の結果より、TFT・LCD ディスプレイ用の洗浄液はオゾン水と水素水であること、両者は 1 組みの電解槽でオゾンガス、水素ガスを生成し、それぞれをユースポイント直近で超純水に溶解することで製造できること、それらの装置は非常に小型にでき、したがってそれからが小規模生産ラインに適すること等を述べた。また、本研究の結果と半導体の洗浄プロセスを参考にして TFT・LCD ディスプレイの基本的洗浄フローは、全室温 4 工程となることを述べた。第 1 ステップは有機物除去洗浄(金属不純物除去含む)：オゾン水または UV、第 2 ステップは粒子除去洗浄：水素水(アルカリ性(pH10))とメガソニック、第 3 ステップはリンス：水素水(中性)とメガソニック、第 4 ステップは乾燥：エアナイフの 4 工程である。

第 3 章 TFT 基板ウェット洗浄プロセス用超音波洗浄技術

第 2 章で明かにした TFT・LCD ディスプレイの洗浄工程で汎用的に用いることのできる微粒子除去の洗浄ツールであるメガソニックに関し、洗浄力の大幅な向上と、洗浄液量の大幅な削減方法及び装置構造について検討した。

現在、TFT・LCD ディスプレイの洗浄工程で使用されている超音波ノズルの断面構造は図 1 に示すような形態をしており、洗浄液はノズルの横から供給され、それに超音波が上部から重畳されその後に狭いスリットより基板上に供給され、基板洗浄が成される。この構造ではノズル単位長さ当たり約 1 ℓ/min の洗浄液を使う。現在、まだ 1m のノズル製造の

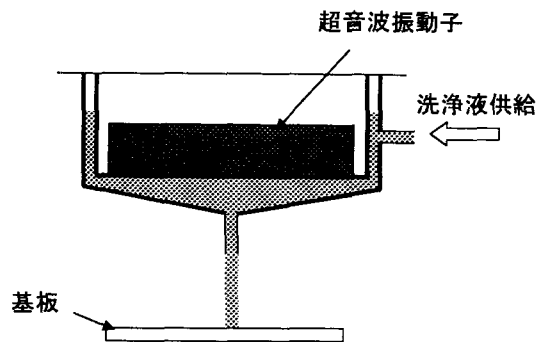


図1 従来のシャワー型ノズル断面構造

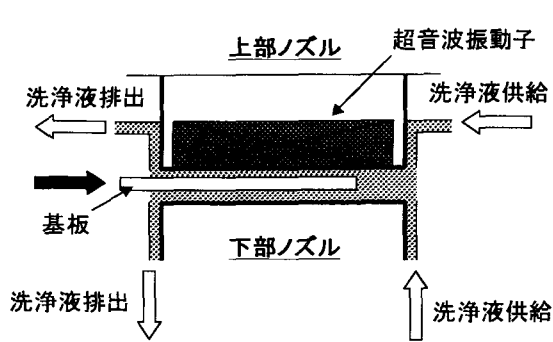


図2 BPP ノズル断面構造

目処はたっていないが、1m のノズルでは、100ℓ/min に相当する。

新たに創出した洗浄方式の 1 つの形態は、図 2 にその断面構造を示すが、超音波波長の数倍程度の洗浄液層を上下のノズルの間に形成し、基板はその液層の中央付近を通過させながら上部より超音波を重畳し洗浄する方式であり、BPP(Balanced Push Pull)ノズル方式と命名した。洗浄液厚は、約 6mm までは、安定して形成できることを実験的に明らかにし、左右のノズル開口部からの液漏れは、洗浄液の供給と排出のバランスをとった流量制御と、液厚を決める上下のノズル間距離と、洗浄液の表面張力、ノズル構成材料の界面張力などを制御して開口部の洗浄液の圧力と大気圧とをバランスさせることで、防止できることを述べた。また、この構造は粒子除去のメカニズムを忠実に実現した超音波振動子近傍で洗浄液を排出する構造であることから洗浄液速度が半導体で用いられているスピン洗浄方式と比べ約 3 桁少なくとも高洗浄の洗浄が可能であること、超音波の音圧の高い状態は基板表面につくり出せること、より適正な振動子の大きさ、発塵がない筐体(輻射板)接液面の表面処理方法、筐体幅の極少化の方法、輻射板の最適板厚、洗浄液をノズルの長さ方向で均一に供給する為の液制御の方法等について明かにした。

その上で、6 インチ基板洗浄用のノズル、720mm 基板用のノズル及びこのノズルを搭載し実験できる洗浄機を試作し、水素水との組み合わせで、従来のシャワー型ノズルと比較し、1 桁以上少ない洗浄液でより高速に高洗浄に洗浄できることを明かにした。また、1m 角の基板も約 30 秒で洗浄できること、単位時間あたりの洗浄面積は従来ノズルの 35 倍で且つ音圧は 4 倍高いこと等について述べ、BPP ノズルが現在の超音波洗浄が抱える重大な課題をいっきに解決できる有効な手段であることを実証した。

第4章 TFT基板ウェット洗浄プロセスへの、機能水と新たな超音波技術の適用

第2章で明かにしたオゾン水、水素水とメガソニックを用いる全室温4工程と第3章で述べたBPPノズルを用いて、対角6インチフルカラーXGAのアモルファスシリコンTFTデバイスのプロセスに適用して液晶ディスプレイを試作し、表示ムラ等のない良好なディスプレイが試作できることを明らかにし、これらの技術の有効性を検証した。また、これらの技術の環境負荷低減効果についても試算しその効果についても明かにした。

第5章 結論(総括)

本章では本研究により新たに得られた知見について総括して述べた。

論文審査結果の要旨

近年、液晶 TFT ディスプレイは、高精細化および大画面化の進展が著しく、さらなる高精度・高生産性製造プロセスの確立が強く求められている。特に、大量の超純水及び薬液を使用する大型ガラス基板表面洗浄プロセスは、工程の高速化及び超純水や薬品の使用量の劇的低減が強く望まれている。筆者は、機能水すなわち溶存ガスを制御した水素水とオゾン水を MHz 帯の超音波(メガソニック)と組み合わせることで、粒子、有機物、金属汚染を除去する室温全3工程洗浄技術を確立した。同時に筆者は全く新しい構造を備えた、洗浄装置を着想してその実用化に取り組み、基板上に数 mm の厚さで数 cm に亘って洗浄液膜を形成し、さらに超音波を重畳して基板表面洗浄する高速洗浄が可能でかつ使用洗浄液量が一桁以上減少する新しい洗浄装置技術を確立した。本論文は、これらの研究成果をとりまとめたもので、全文5章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、大型ガラス基板の洗浄液および洗浄手段について系統的に検討し、洗浄液に関しては、電解イオン水(アノード水、カソード水)、ガス溶解機能水(水素水、オゾン水)の洗浄性能を明らかにし、洗浄手段に関しては、メガソニック、ブラシ、高圧ジェット水の性能の差を解明した。その結果、粒子の洗浄は水素水とメガソニックの組み合わせが最適であること、有機物及び金属の洗浄はオゾンガスを使用装置近傍で超純水に溶解したオゾン水洗浄が最適であることを実証した。さらにこれらの知見をもとに、水素水、オゾン水およびメガソニックを用いた室温全3工程洗浄技術を確立した。さらに水素およびオゾン、電気分解によりオンサイトで同時に製造する装置を実用化した。これは ppm オーダの水素やオゾン等を添加した機能水を使用して粒子、有機物、金属汚染を極めて高い除去性能で洗浄する洗浄技術を確立したものであり、重要な成果である。

第3章では、基板上数 mm の厚さ数 cm の長さ亘って洗浄液膜を形成し、洗浄液の均一供給、均一排出、開口部での洗浄液の表面張力と大気との圧力バランスを制御する技術を実現し、そこにメガソニック超音波を重畳して洗浄することで、洗浄力が従来の大型基板超音波洗浄器の約4倍、単位時間あたりの洗浄面積が35倍、洗浄液が10分の1以下になる洗浄方法(Balanced-Push-Pull ノズル洗浄)を確立し、かつその技術を具現化した洗浄装置を実現し、1m 角の大型ガラス基板を30秒で洗浄する高速洗浄を可能にした。これは、実用上きわめて有益な成果である。

第4章では、水素水、オゾン水と Balanced-Push-Pull ノズルを用いた室温全3工程洗浄を200画素/インチを超える高精細度の対角6インチ XGA-TFT 液晶ディスプレイの製造ラインに導入し、洗浄装置の台数、フットプリント、および使用洗浄液量を大幅に削減する効果を実証した。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、粒子、有機物、金属汚染を除去する室温全3工程機能水洗浄技術を確立すると共に、洗浄力が高かつ使用洗浄液量が極めて少ないまったく新しい概念の洗浄装置技術を確立したものであり、大型・高精細 TFT 液晶ディスプレイ製造技術を革新する大きな成果をあげたものであり、画像電子工学の発展に寄与するところが少なくない

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。